

## Sensor combination system for clarification of the air situation

Patent Number: DE3818813  
Publication date: 1999-06-02  
Inventor(s): KLIMMEK NORBERT DIPL ING (DE); KONLE WOLFGANG DIPL PHYS (DE)  
Applicant(s):: DORNIER GMBH (DE)  
Requested Patent: ☐ DE3818813  
Application Number: DE19883818813 19880603  
Priority Number(s): DE19883818813 19880603  
IPC Classification: G01S13/06 ; G01S7/02  
EC Classification: G01S13/86, G01S7/02A, G01S13/00B  
Equivalents:

### Abstract

the system has a number of active and passive sensors connected to a central computer system (2). There is at least one weakly bundled transmitter (8) and several receivers (10) which are arranged optionally which receive the transmitter signal as a reference signal and the echo signals reflected from objects. The receiver determines the signal transition time differences and passes them to the central computer which determines the object positions

⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 38 18 813 C 1

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>  
G 01 S 13/06  
G 01 S 7/02

⑲ Aktenzeichen: P 38 18 813.9-35  
⑳ Anmeldetag: 3. 6. 88  
㉑ Offenlegungstag: -  
㉒ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 2. 6. 99

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑰ Patentinhaber:

Dornier GmbH, 88048 Friedrichshafen, DE

⑲ Erfinder:

Konle, Wolfgang, Dipl.-Phys., 88048  
Friedrichshafen, DE; Klimmek, Norbert, Dipl.-Ing.,  
88677 Markdorf, DE

⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

US 44 99 468  
US 40 68 234

E. Hanle, "Survey of bistatic and multistatic  
radar" in JEE Proc., Vol. 133, No. 7, Dec. 1986,  
S. 587 - 595

⑤③ Sensorverbundsystem

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verbundnetz aus aktiven und  
passiven Sensoren und ein Verarbeitungsverfahren zur  
Bearbeitung der durch die Sensoren ermittelten Werte zu  
einer Entfernungs- und Bewegungsinformation. Dabei  
werden eine große Anzahl billiger und einfacher Emitter  
und passiver Sensoren mit wenigen teuren und anfälligen  
Komponenten zu einem System zusammengefügt. Die  
passiven Komponenten sind einfach aufgebaut, hoch mo-  
bil und flexibel einsetzbar und bieten aufgrund ihrer Pas-  
sivität kein Ziel für radarzerstörende Waffen.

DE 38 18 813 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Sensorverbundsystem zur Klärung der Luftlage nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Bekannt sind Netze, die aus passiven oder aktiven Sensoren bestehen. Ein Netz aus rein passiven Sensoren hat den Nachteil, dass es auf Emissionen der zu detektierenden Objekte angewiesen ist. Ein weiterer Nachteil besteht darin, daß meist keine sehr genauen Meßwerte vorliegen, da häufig nur Winkelinformationen zur Verfügung stehen.

Bei einem Netz aus aktiven Sensoren werden sehr hoch entwickelte, teure Sensoren verwendet, die aufwendig vor Beschädigungen geschützt werden müssen. Bei taktischen Einsatz des Systems ist es jedoch möglich, daß die aktiven Sensoren durch gegnerische Maßnahmen (Bedrohung oder möglicherweise Zerstörung) am Senden gehindert werden. Hinzu kommt noch, daß bei Emissionen durch aktive Sensoren ein Grund für Störemissionen eines Gegners vorliegt. Bisherige aktive und passive Sensoren sind schwerfällig, mechanisch aufwendig und bedürfen überwiegend Vorrichtungen, um sie über den zu überwachenden Bereich kontinuierlich zu verschwenken. Werden bekannte aktive und passive Sensoren kombiniert, so lassen sich nur inflexible, anfällige und teure Netze bilden, von denen schnell und tiefstehende Objekte, die ihre Richtung schnell wechseln können, nicht erkannt werden.

Die US-PS 4.499.468 beschreibt ein multistatisches Radarsystem mit einer Vielzahl von Sendern und Empfängern, die in einem quadratischen Gittermuster angeordnet sind. Die starre geometrische Anordnung ist ein Folge des verwendeten Auswerteverfahrens. Zu dessen Durchführung ist die Funktion sämtlicher Sensoren unbedingt notwendig.

Die US-PS 4.068.234 beschreibt ein System zur Abbildung bzw. Identifizierung eines Objekts. Es umfaßt einen Sender, der auf verschiedenen Frequenzen arbeitet, und mehrere, in einer Reihe angeordneten Empfänger. Die durch die Gesamtheit der Empfänger bei den einzelnen Sendefrequenzen aufgenommenen Reflexionsmuster werden über eine Fouriertransformation in ein Bild des Objekts gewandelt.

In E. Hinkle, "Survey of bistatic and multistatic radar in 1986", Dec. 1986, Seiten 587 bis 595 wird das Zusammenwirken aktiver und passiver Sensoren zu einem multistatischen Radarsystem beschrieben. Bei solchen Systemen erfolgt die Radarüberwachung durch stark gebündelte Strahlung einer oder mehrerer Sender, wobei durch Schwenkung der Sendeanennen der gesamte zu überwachende Raumbereich abgetastet wird. Die multistatischen Empfangsanennen müssen entsprechend der momentanen Abstrahlrichtungen der Sendeanennen nachgeführt werden. Mit diesen Vorrichtungen sind sowohl Winkel- als auch Entfernungs-messungen möglich. Jedoch erfordern die Synchronisation bzw. Nachführung der einzelnen Sender und Empfänger einen hohen technischen und elektronischen Aufwand. Ein weiterer Nachteil dieser Systeme ist die relativ geringe Auf-dathäufigkeit, da der gesamte Überwachungsraum nicht simultan erfaßt, sondern sukzessive abgetastet wird. Beim taktischen Einsatz solcher Systeme ergeben sich zusätzlich weitere Nachteile:

leichte Entdeckbarkeit und begrenzte Mobilität aufgrund des umfangreichen technischen Aufbaus der einzelnen Komponenten

aufgrund hoher Beschaffungskosten steht bei der Zerstörung einzelner Komponenten meist kein Ersatz zur Verfügung

Aufgabe der Erfindung ist es demnach, ein solches Sy-

stem von aktiven und passiven Sensoren so zu erweitern, daß ein flexibles, an unterschiedliche taktische Einsatzanforderungen anpaßbares Gesamtsystem entsteht.

Wenige herkömmliche aktive und passive Sensoren werden mit einigen technisch einfachen Einheiten und passiven Sensoren zu einem System zusammengefügt. Durch die technische Einfachheit der zusätzlichen Komponenten ist es dann möglich, eine grössere Anzahl von Sensoren zu verwenden und damit das Gesamtkonzept preiswert, hoch mobil und flexibel zu gestalten.

Das Sensorsystem der zusätzlichen aktiven und passiven Sensoren arbeitet nach dem Arbeitsprinzip des bistatischen oder multistatischen Radars. Dieses Prinzip hat zwar gegenüber dem monostatischen Radar den Nachteil einer geringeren Reichweite und einer geringeren Raumüberdeckung, aber dieser Nachteil wird durch eine höhere Anzahl an passiven Komponenten an verschiedenen Standorten wieder ausgeglichen. Im allgemeinen weist ein multistatisches System eine höhere Komplexität bei geringer operationeller Flexibilität auf, so dass selbst dann bei herkömmlichen Systemen einem monostatischen Radar der Vorzug gegeben wird, wenn dieses vom Prinzip her unterlegen ist. Ein wesentlicher Grund dafür liegt darin, dass eine ökonomische Nutzung der eingesetzten Sendeleistung eine aufwendige, nur elektronisch realisierbare Nachführung der Empfangsanennen erfordern.

Das erfindungsgemässe System geht von einem schwach bündelndem Sendesystem aus, das einen grossen Teil des zu untersuchenden Raumes bestrahlt. Verteilt angeordnete Empfänger nehmen die von Zielen im Luftraum zurückgestreuten Lichter auf und messen den Zeitunterschied zu einem vom Sender direkt empfangenen Referenzsignal.

Um den technischen Aufwand des Systems gering zu halten, wird lediglich die Signal-Laufzeit-Differenz ermittelt. Aus diesen Laufzeitdifferenzen lässt sich mit Hilfe eines speziellen Verfahrens die Position der reflektierten Ziele bestimmen. Die über einen grossen Winkelbereich gestreute Sendeleistung erfordern eine entsprechend hohe Sendeleistung, damit die Empfänger genügend Lichtsignalenergie aufnehmen können. Diesem Nachteil steht gegenüber, dass bei jedem Sendevorgang der gesamte Raum simultan erfasst wird. Man erhält somit eine Momentaufnahme des überwachten Gebietes. Damit entfallen aufwendige elektronische und/oder mechanische Antennen-Schwenkeinrichtungen, die ansonsten zur speziellen Raumabtastung benötigt werden.

Je enger eine Antenne der passiven Komponente bündelt, um so grösser ist die Reichweite. Es werden dabei mehrere Antennen parallel benötigt, um ein grosses Raumgebiet simultan zu überwachen.

Für den Beitrag eines Sensors zum Gesamtsystem ist einerseits die Genauigkeit seiner Messung wichtig und andererseits die Signifikanz, mit der die Messungen zur System-Luftlage hinzuzuordnen werden können.

Diese Signifikanz hängt wesentlich von der Aufdatzeit ab. Im folgenden soll die Auslegung der passiven Komponente bezüglich der Aufdatzeit betrachtet werden.

Dazu sollen als Parameter vorausgesetzt sein, dass Entfernungen über Laufzeitdifferenzen bis auf 30 m genau bestimmt werden können. Bei bisherigen Systemen liegen neue Meßwerte von einem Ziel alle 5 s vor. Dies sind typische Parameter, die von verfügbaren aktiven Radarsystemen erreicht werden. Ferner wird vorausgesetzt, dass dem System die Geschwindigkeit des Zieles bis auf 30 m/s genau bekannt ist. Wenn das Ziel nun mit einer Beschleunigung von 3 g zu jedem Zeitpunkt seine Bahnparameter ändern kann, dann ist es in der Lage, innerhalb von 5 s herkömmlicher Abtastzeit seine Entfernung gegenüber dem erwarteten

Wert um maximal 475 m (150 m + 375 m) zu ändern.

Erst bei einer erfindungsgemäß vorgeschlagenen Meßfolge von etwa einer halben Sekunde ist in diesem Beispiel die Manövertfähigkeit des Zieles deutlich geringer als die Meßgenauigkeit. Erst dann ist es möglich, die volle Meßgenauigkeit zu Separierung des Zuordnungsraumes einzusetzen.

Neben der Laufzeitmessung kann zur Steigerung der Meßgenauigkeit noch eine Dopplerverschiebung der Frequenz des Ziel-Sichtes gegenüber dem direkten Signal berücksichtigt werden.

Durch eine Steigerung der Meßfolge lässt sich die Effektivität der Zuordnung und die Diskriminierung von Störungen und Clutter noch weiter erhöhen. Bei einer Verwendung von Antennen, die 60° bis 90° abdecken, und bei Meßfolgen von 0,2 bis 0,5 s kann auch bei einem Aufkommen von ca. 50 Zielen im Beobachtungsraum einer einzigen passiven Komponente noch überwiegend eindeutig zugeordnet werden. Bei herkömmlichen Systemen ist eine derartige kurzfristige Aufdatung technisch nicht möglich, da diese Systeme mechanisch geschwenkt werden müssen und daher diese Zeiten nicht erreichen.

Die vorgesehenen zusätzlichen Emitter arbeiten mit einer gegenüber herkömmlichen Systemen verringerten Frequenz von unter 1,5 GHz, bis herab zu ca. 500 MHz, wohingegen herkömmliche Systeme bei 3 bis 6 GHz arbeiten. Dadurch ist eine höhere Abstrahlleistung einsetzbar, was bei den passiven Sensoren hohe Längungspegel gewährleistet. Dabei muß die Durchschlagsfestigkeit der Antennen selbstverständlich berücksichtigt werden.

Als passive Sensoren können einfache Hohlleiterantennen verwendet werden.

Die Emitter weisen eine feste Strahlrichtung und die Sensoren eine feste Suchrichtung auf. Je nach Bedarfsgesichtspunkten können die Emitter und Sensoren so ausgelegt sein, dass an ihren Vorrichtungen vorhanden sind, die es ermöglichen, die Strahlrichtung oder Suchrichtung von Zeit zu Zeit zu ändern. Das bedeutet nicht ein Abtasten des Beobachtungsraumes, sondern die Richtung wird bedarfsabhängig verändert und bleibt dann in der veränderten Richtung wieder fest.

Die im Sensorverbund ermittelten Laufzeitwerte werden einem Verarbeitungsverfahren zugeführt.

Das Verarbeitungsverfahren besteht im wesentlichen aus den Elementen "Zuordnung" und "Filterung", wobei die Filterung nach dem bekannten Verfahren der "Kalman-Filterung" geschieht. Die Lösung der Zuordnung ist im beschriebenen Sensor-Verbundsystem mit bekannten Methoden nicht mehr zufriedenstellend möglich. Die im Verbund erreichbaren hohen Meßfolgen und hohen Meßgenauigkeiten können im Verarbeitungsverfahren extrem kleine Suchre für neue Zuordnungen bewirken und damit ein stabiles Tracking selbst bei starken Manövern und vielen gleichzeitig vorhandenen Zielen ermöglichen. Die somit erzielbare "Zuordnungssicherheit" ist für das Verarbeitungsverfahren entscheidend.

Aus der geographischen Lage von möglichem Zielen (der Ort des Zieles, dem eine Messung gegebenenfalls zugeordnet werden kann), von Sensor und von aktivem Emitter ergibt sich die Information "Detektionswahrscheinlichkeit". Diese Information ist aus der Kenntnis des Meßprinzips und geographischer Informationen ableitbar.

Aus gemessener Hintergrundstrahlung und Langzeitbeobachtungen kann zusätzlich Information über die "Falsch-Alarm-Rate" der jeweiligen Sensoren gewonnen werden.

Durch die Verarbeitung der drei Zusatzinformationen Zuordnungssicherheit, Detektionswahrscheinlichkeit und

Falsch-Alarm-Wahrscheinlichkeit

unterscheidet sich das hier beschriebene Verfahren von bekannten Zuordnungsverfahren.

Drei Angaben werden als Verfahrensergebnis erzielt:

- Listen von Messungen, die einem Ziel zugeordnet werden können (Zuordnungsalternativen)
- Relative Wahrscheinlichkeitsangaben für die aufgeführten Zuordnungsalternativen (Zuordnungssicherheit)
- Aus der Zuordnungssicherheit abgeleitete Listen von Gewichtsfaktoren, mit denen die Beiträge der Messungen im Kalman-Filter zu gewichten sind (wobei die hier beschriebene Gewichtung zusätzlich zu der durch die unterschiedlichen Meßgenauigkeiten im Kalman-Filter durchgeführten Gewichtung erfolgt).

Zur Ermittlung der Zuordnungssicherheit und der Zuordnungsalternativen werden folgende Daten verwendet:

- Meßdaten
- Vorhersage-Daten
- Kovarianz der Messungen und der Vorhersagen
- Gatingparameter (zugeordnetes maximales Verhältnis von Abweichungsquadrat/Kovarianz)

Daraus werden berechnet:

die statistischen Abstände "dst(i, j)" aller Messungen i und aller Vorhersagen j (sofern diese Abstände kleiner als der Gating-Parameter sind und mit  $ds = \text{Abweichungsquadrat/Kovarianz}$ )

die optimale Kombination von n Paaren (i, j) mit der kleinsten Summe statistischer Abstände dst(i, j) (optimale Zuordnung)

die Liste der (beispielsweise zwei) besten alternativen Partner zu jeder Messung und zu jeder Vorhersage (Zuordnungsalternativen, wobei alternativ hier heisst, von der optimalen Konfiguration abweichend und beste Alternative bedeutet hier eine Konfiguration mit der kleinsten Summe statistischer Abstände und der Nebenbedingungen, dass die gerade betrachtete Messung oder Vorhersage jeweils einen anderen Partner als bei zuvor gefundenen, günstigeren globalen Konfigurationen hat

die Summe der statistischen Abstände der zu jeder Alternative gehörenden optimalen Konfiguration (relative Gewichtung)

die zu jeder Messung oder Vorhersage gehörenden Produkte aus (beispielsweise drei) Faktoren ( $1 - \exp(-0,5 \cdot \text{dst}(i, j))$ ) mit den zu jeder Messung oder Vorhersage gehörenden, beispielsweise drei, kleinsten statistischen Abständen dst(i, j) (Normierung, wobei Normierung ein Ausdruck für die Wahrscheinlichkeit ist, dass kein Partner zur jeweiligen Messung oder Vorhersage passt).

Der ermittelte Gewichtsfaktor G gibt an, wie stark eine Messung bei der Aufdatung einer Spur im Tracking-Filter zu berücksichtigen ist. Kommen mehrere Messungen für die Aufdatung alternativ in Frage, dann wird die Spur mit allen in Frage kommenden Messungen aufgedatet, die jedoch nur partiell gewichtet werden. Die Summe der partiellen Gewichtsfaktoren ist dabei gleich dem Gewichtsfaktor G. Die einzelnen Werte der partiellen Gewichtsfaktoren errechnen sich aus den relativen Bewertungen der Zuordnungsalternativen.

Durch die Anwendung des beschriebenen Verarbeitungs-

verfahrens, das die Sicherheit der Zuordnung berücksichtigt, wird gewährleistet, dass die Beiträge der einzelnen Sensoren entsprechend der jeweiligen Situation, in der sich der einzelne Sensor gerade befindet, relativ zueinander bewertet werden können.

Ein Einzelsensor, der aufgrund von Konfliktsituationen nur schwer interpretierbare Messungen abliert, trägt damit weniger zur Ermittlung der Luftlage bei als ein Sensor, der nicht in einer Konfliktsituation steht. Insbesondere wird dadurch vermieden, dass ein ungünstig stehender Sensor durch seine Messungen die Qualität des Luftlage-Bildes verschlechtern kann. Das Verarbeitungsverfahren dient ebenso im wesentlichen dazu, die Sicherheit der Zuordnung eines Objektes zu erhöhen und den ungünstigen Einfluß von Zweifelsfällen zu verringern. Das Verfahren stellt somit ein Filter für nicht interpretierbare Messungen dar.

Die Erfindung wird durch drei Figuren weiter erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 die beispielhafte Aufteilung der verwendeten Komponenten.

Fig. 2 den Ablauf im Datenverarbeitungssystem.

Fig. 3 die prinzipielle Darstellung einer passiven Sensorenanne.

Fig. 1 stellt eine beispielhafte Verteilung der Komponenten dar, ohne einem festgelegten Konfigurationsvorschlag zu entsprechen. Die Verarbeitungsanlage 2 wird von mehreren aktiven, monostatischen Radaranlagen 4 und ISM-Sensoren 6 umringt. Zusätzlich sind weitere multistatische Limiter 8 vorgesehen und eine Vielzahl von einfachen passiven Sensoren 10, die teilweise die Verbindungsleitungen der ISM-Sensoren 6 mitbenutzen.

Fig. 2 zeigt den prinzipiellen Ablauf im Datenverarbeitungssystem.

Fig. 3 zeigt ein Beispiel für eine Antenne eines zusätzlichen passiven Sensors in der Form einer Sektorhornantenne 11. Der Speicholeiter 12 geht über in das Sektorhorn 14, dessen Ausritzsöffnung mit den Aperturabmessungen  $a_0 = 1,15 \lambda$  (vertikal) und  $b_0 = 0,32 \lambda$  (horizontal) realisierbar ist und dabei eine Strahlbreite in Elevation von  $60^\circ$  und im Azimut von  $120^\circ$  aufweist.

#### Patentansprüche

1. Sensorverbundsystem zur Klärung der Luftlage mit einer Anzahl von aktiven und passiven Sensoren und einer zentralen, damit verbundenen Rechneranlage, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich mindestens ein schwach bündelnder Sender (8) und mehrere, beliebig angeordnete Empfänger (10) vorgesehen sind, die das Sendesignal als Referenzsignal und die von Objekten reflektierten Lichtsignale aufnehmen und aus beiden Signalen die Signal-Laufzeit-Differenz ermitteln und an die zentrale Rechneranlage (2) übermitteln, die daraus die Position der Objekte berechnet.
2. Verbundsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei den Empfängern (10) Meßwert-Aufdatzeiten zwischen 0,2 und 0,5 s vorgesehen sind.
3. Verbundsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Sender (8) feste Strahlrichtungen aufweisen.
4. Verbundsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Empfänger (10) feste Suchrichtungen aufweisen.
5. Verbundsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlrichtungen der Sender (8) und die Suchbereiche der Empfänger (10) veränderlich einstellbar sind.
6. Verbundsystem nach einem der vorherigen Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, daß Vorrichtungen an den Sendern (8) und Empfängern (10) vorgesehen sind, die es ermöglichen, Sender (8) und Empfänger (10) zu bewegen.

7. Verbundsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Empfänger (10) eine Hohlleiterantenne aufweisen.

8. Verbundsystem nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Hohlleiterantenne eine Sektorhornantenne (11) ist.

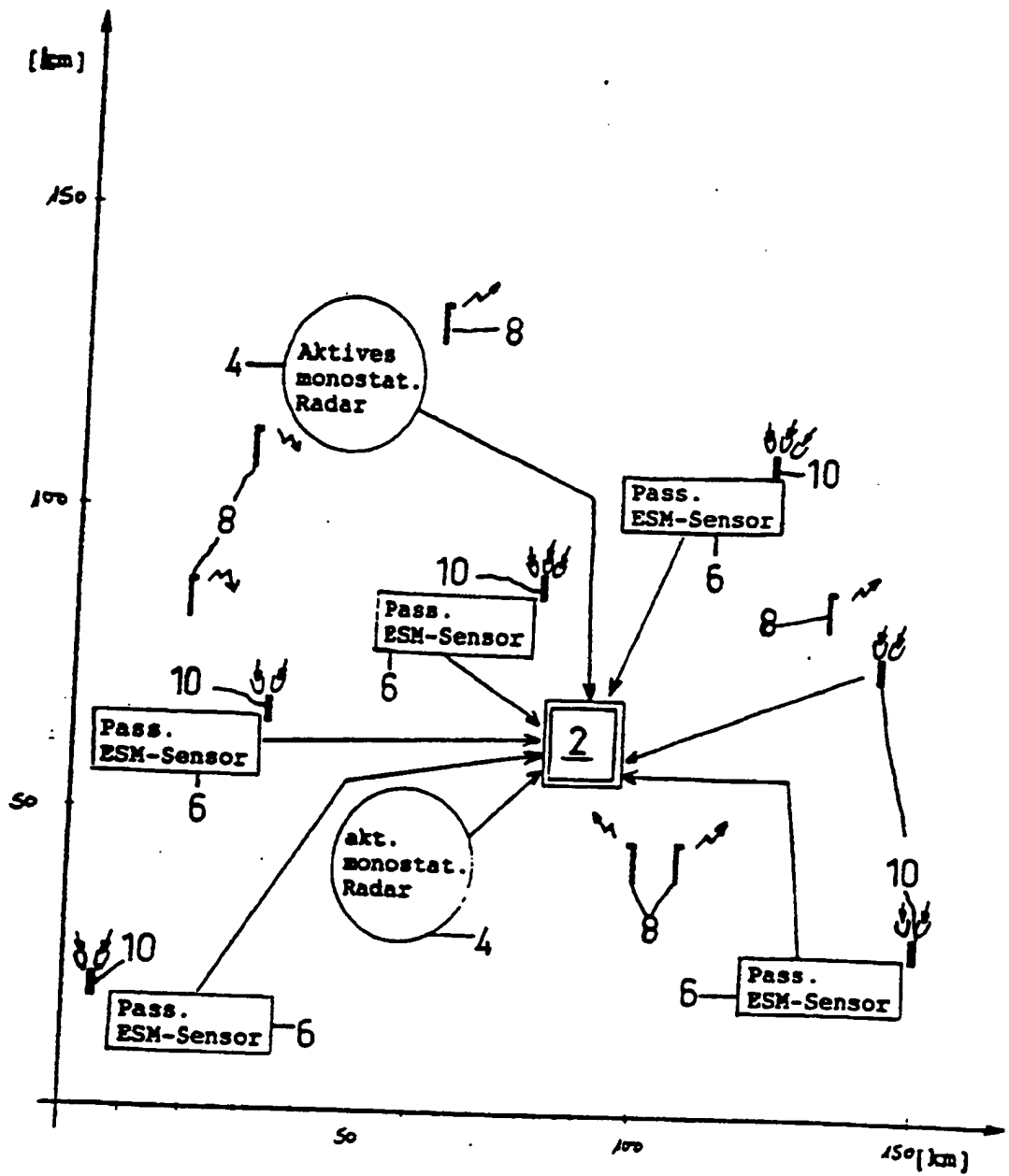
9. Verbundsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Empfänger (10) parallel zur Überdeckung größerer Raumbereiche vorgesehen sind.

10. Verbundsystem nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalfrequenz der Sender (8) im Bereich unter 1,5 GHz, vorzugsweise unter 800 MHz liegt.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Fig. 1

Sensorsystem



- Leerseite -

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

Fig. 2

Datenverarbeitungssystem

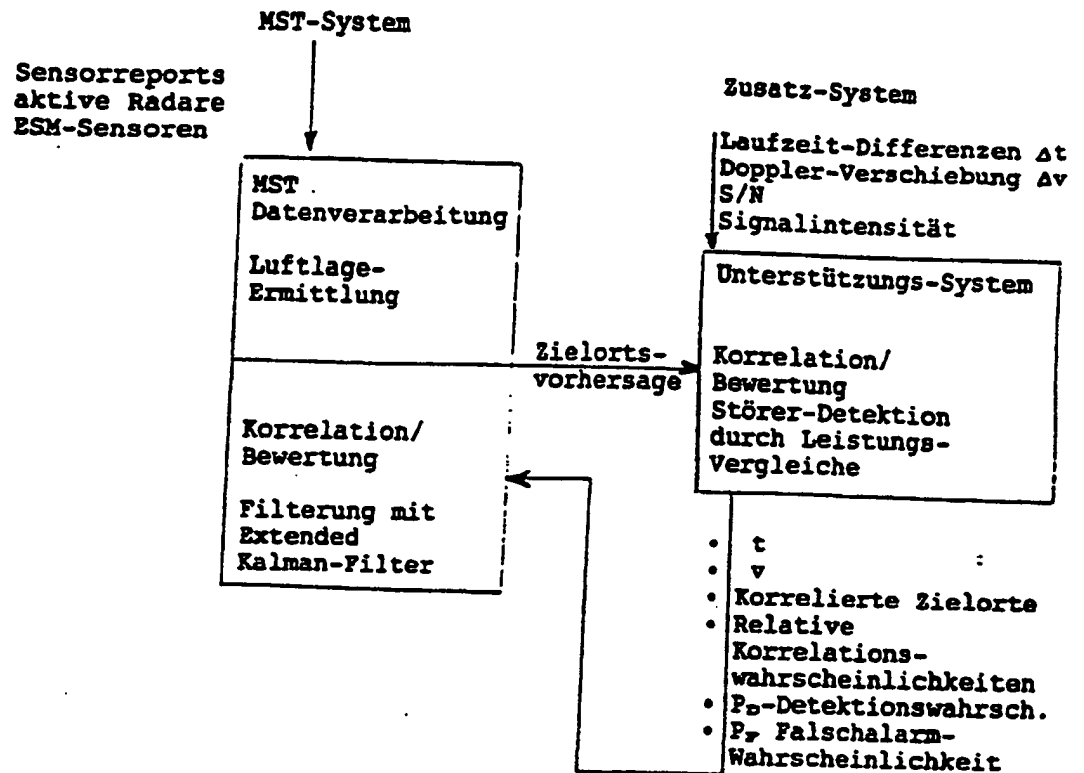
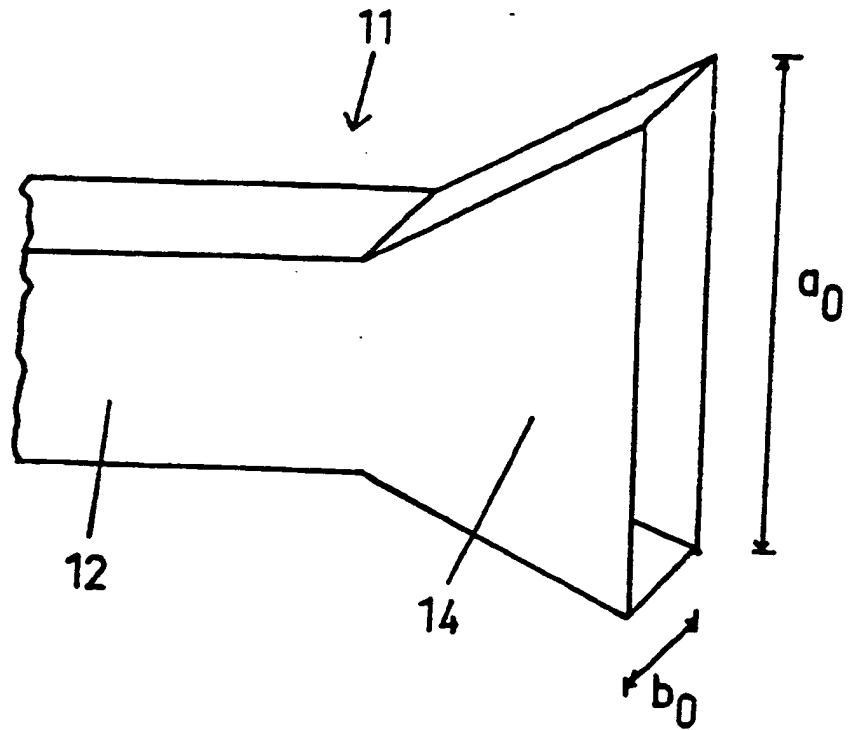




Fig. 3



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**